

С. К. Грехов

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург
g.svyat@yandex.ru
Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

АНАЛИЗ НАГРУЖЕНИЯ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Приведены результаты математического моделирования при нагружении высокопористой структуры из титанового сплава при неравноосном выполнении ячеек аддитивным методом. Методом конечных элементов в программном модуле ABAQUS определено напряженно-деформированное состояние материала из титанового сплава с ячейками в виде ромба при плоской постановке задачи. Выявлено, что при развороте направления нагружения изменяется распределение напряжений, а также значение модуля упругости.

Ключевые слова: аддитивное производство, пористые структуры, сплав Ti–6Al–4V, анизотропия; некомпактное состояние; имплантаты.

S. K. Grekhov

ANALYSIS OF LOADING THE CELLULAR STRUCTURE

Here are results of the mathematical model operation at the loading of a high-cellular structure made of titanium alloy at the uniaxial cell performance by the additive method. Intensely strained state of titanium alloy material with cells in the form of rhombus at the flat statement is determined by the method of finite elements in a program module ABAQUS. It is revealed that at the turn of loading direction the stress distribution and the value of an elastic modulus change.

Key words: additive manufacturing; cellular structures; Ti–6Al–4V alloy; anisotropy; noncompact state; implants.

Применение аддитивных технологий позволяет создавать ячеистые структуры из различных материалов с заданной конфигурацией ячеек. В результате возникают дополнительные возможности по управлению механическими свойствами материала в целом, например, это касается таких характеристик, как модуль упругости, коэффициент Пуассона [1] и др. Материалы такого типа, изготовленные из титановых сплавов, востребованы в медицинской технике в качестве имплантатов [2]. При изготовлении структур, обладающих пол-

ной симметрией пор, например в виде равномерно расположенных сфер, достигается изотропность изделия [3]. При этом возникает вопрос, как будут изменяться свойства изотропности при выполнении ячеек неравноосного вида. Одним из основных испытаний ячеистых материалов является измерение механических характеристик в условиях одноосного сжатия [4].

Испытание ячеистых сред на сжатие производится в соответствии со стандартом ISO 13314:2011. Для симуляции этого вида испытаний применили программный комплекс ABAQUS, реализующий метод конечных элементов. Применен вариант решения, использующий 582 конечных элемента. Деформируемый материал обладает свойствами титанового сплава Ti–6Al–4V, часто используемого в медицине наравне с чистым титаном. Рассматривается плоское деформированное состояние.

На рис. 1 показано распределение эквивалентных напряжений при нагружении в соответствии со стандартом ISO 13314:2011. Распределение эквивалентных напряжений показывает области концентрации удельных нагрузок. При использовании теорий прочности становится возможным определить опасные сечения. Как видно из рисунка, наибольший уровень напряжений возникает в местах локальных утонений поперечного сечения, примыкающих к каждой ячейке. В местах утолщений, наоборот, опасные зоны находятся в центре сечения.

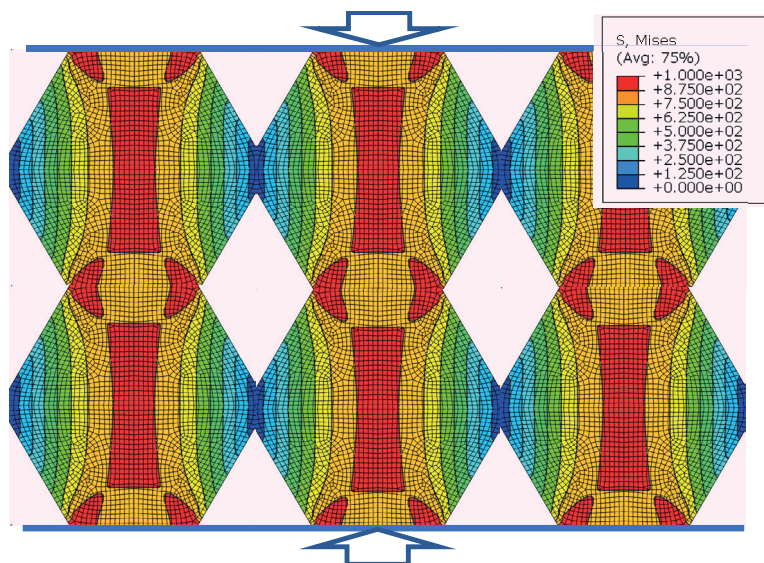


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в сечении титанового фрагмента при вертикальной нагрузке

В процессе выполнения расчетов выявлено, что при изготовлении высокопористых структур аддитивными методами необходимо учитывать конфигурацию ячеек. Равноосная конфигурация ячеек при их равномерном распределении обеспечит изотропные свойства. При неравноосной конфигурации ячеек свойства окажутся анизотропными. В частности, модуль упругости будет зависеть от степени вытянутости пор и ориентировки их осей симметрии в пространстве.

Дополнительное влияние на механические свойства оказывают режимы отжига [5] и микронесплошности материала, полученного аддитивным способом [6].

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Determining the Young's modulus of a cellular titanium implant by FEM simulation / Yu. N. Loginov [et al.] // AIP Conference Proceedings. 2017. 1915. 030010.
- 2 Оптимизация аугментации костных дефектов титановыми ячеистыми имплантатами в оперативной травматологии и ортопедии / М. В. Гилев [и др.] // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2017. Т. 14. № 4. С. 435–442.
- 3 Loginov Y. Inhomogeneity of deformed state during compression testing of titanium implant / Y. Loginov, S. Stepanov, C. Khanykova // MATEC Web of Conferences: 13th International Scientific-Technical Conference Dynamic of Technical Systems. 2017. P. 03009. DOI: 10.1051/mateconf/201713203009.
- 4 Испытание на осадку пористого имплантата, полученного аддитивным методом из титанового сплава / Ю. Н. Логинов [и др.] // Титан. 2017. № 2 (56). С. 16–20.
- 5 Влияние отжига на структуру и свойства титанового сплава медицинского назначения с ячеистой архитектурой / С. И. Степанов [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. 2018. № 5 (755). С. 42–48.
- 6 Соотношения механических свойств и плотности для титана, полученного аддитивным методом / Ю. Н. Логинов [и др.] // Цветные металлы. 2018. № 5. С. 51–55.